

# 酒造工程における IoT 活用技術に関する研究

重松博之\*1 酒井美希\*2 高木茂孝\*3 西方敦博\*3 木下浩二\*4

Research on IoT utilization technology in the brewing process

SHIGEMATSU Hiroyuki, SAKAI Miki, TAKAGI Shigetaka, NISHIKATA Atuhiro and KINOSHITA Koji

もろみ管理に IoT 技術を活用し、各種データを数値化・蓄積し、もろみ経過を予測し、最適なもろみの温度や加水量とタイミングをアドバイスするシステムを構築することを目的として、画像データともろみ音を解析し、もろみ温度等から加水量及び加水タイミングを支援する安価なシステムの開発を行った。種々のデータ及び、分析によって得られたデータをクラウド上に蓄積し、AI に活用するための基盤の確立が図られた。今後は、本システムを用いて醸造工程においてデータ収集・蓄積を進め、発酵管理に重要な加水量及び加水タイミング支援システムの最適化を図っていく。

キーワード：加水量、加水タイミング、画像処理、雑音除去、もろみ管理

## はじめに

日本酒醸造におけるもろみの管理は、長年醸造に携わる杜氏の熟練の技術とノウハウが重要であるが、ベテラン杜氏が高齢化し、技術・ノウハウの伝承が課題<sup>1)</sup>となっている。さらに、労働力不足も重なり、作業のより一層の効率化も求められている。

そこで、もろみ管理に IoT 技術を活用し、各種データを数値化・蓄積し、さらにそのデータを AI 解析することで、もろみ経過を予測し、最適なもろみの温度や加水量とタイミングをアドバイスするシステムを構築することを目的として、開発を行った。

## 実験方法

### 1. 大吟醸酒のもろみデータの蓄積

愛媛県酒造協同組合協力の下、県内酒造メーカー 4 社において醸造される大吟醸酒もろみについて酒造データの取得と蓄積を行った。週に 4 回分のもろみを 50mL 遠心管に入れ、グルコース濃度やピルビン酸濃度等の分析を行った。もろみ音の採取は IC レコーダーステレオ IC レコーダー（Sony 製 ICD-PX470）とコンデンサーマイクロホン（Sony 製 ECM-CS10）、もろみ状態画像の取得はデジタルカメラまたはタブレットを用いて行った。データの集積はクラウド上で酒造管理システム「Sakagura」または Google ツールを用いて行った。

### 2. 集積データの解析

クラウド上に集積した数値、画像、音データについてそれぞれ解析を行った。

### 3. 酒造管理システムの開発

酒造現場で得られた種々のデータ及び、分析によって得られたデータをクラウド上に保存し、データを共有するための酒造データ管理システムの機能の開発を行った。システムの概要を図 1 に示す。

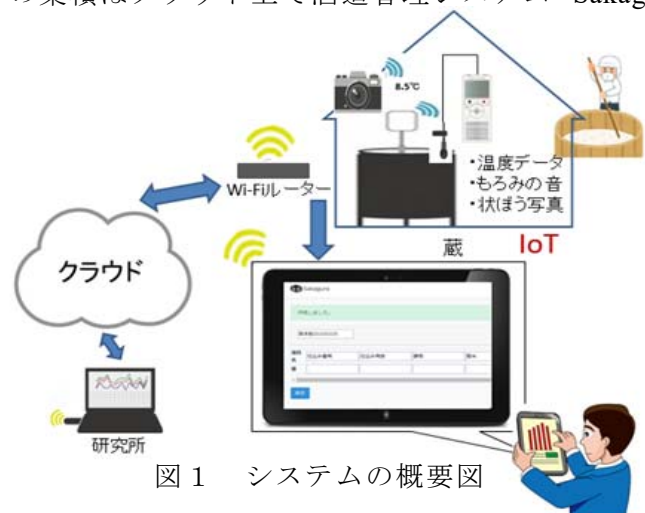


図 1 システムの概要図

\*1 (現) 愛媛県産業技術研究所企画管理部 \*2 (現) 愛媛県経済労働部産業創出課 \*3 東京工業大学工学院 \*4 愛媛大学大学院

この研究は、「令和2年度AI・IoT等デジタル活用推進事業」の予算で実施した。

愛媛県産業技術研究所業績第4号

## 結果と考察

### 1. 大吟醸酒のもろみデータの蓄積

もろみの情報を企業と食品産業技術センターの両方から酒造管理システムに入力した。また、データ入力シートにまとめた食品産業技術センターの分析データの一例を表1に示す。

表1 集積データの一例

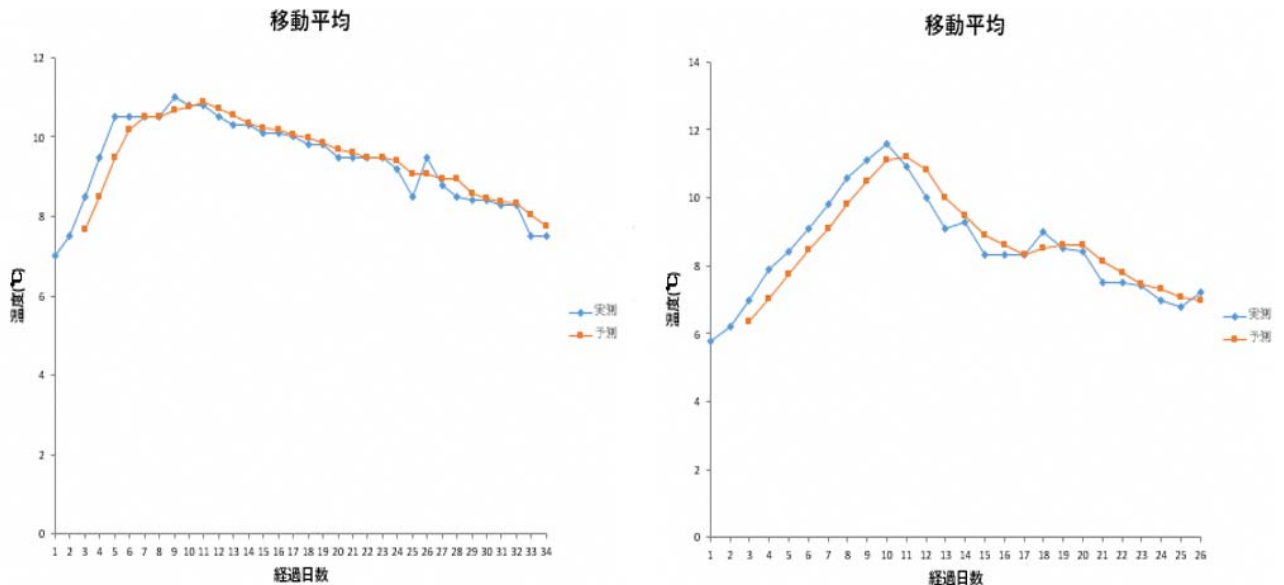
留後 日数	食品産技セ分析値				香気成分 (ppm)								
	グルコース (%, w/v)	ビルビン酸(ppm)	酵母死滅率(%)	酵母数(個/g)	アセトアルデヒド	酢酸エチル	n-プロピルアルコール	イソブチルアルコール	酢酸イソアミル	イソアミルアルコール	カブロン酸エチル	カプリル酸エチル	酢酸
1													
2													
3													
4													
5													
6													
7	5.5	90	-	-	98.2	8.8	17.9	18.4	0.6	56.6	2.1	0.3	0.0
8													
9	4.5	200	1.1	1.5 × 10 <sup>8</sup>	10.8	11.4	24.7	22.0	0.8	68.6	4.7	0.3	5.1
10													
11	3.7	-	-	-	35.1	17.4	28.2	26.7	1.1	82.9	6.2	0.6	0.0
12	2.5	-	1.5	1.1 × 10 <sup>8</sup>	14.3	18.8	30.6	28.5	1.3	87.3	6.8	0.6	0.0
13													
14	2.7	-	-	-	45.3	23.5	35.1	29.4	1.4	93.1	7.4	0.8	3.7
15													
16	2.5	270	2.5	1.2 × 10 <sup>8</sup>	15.1	25.6	41.3	32.1	1.5	101.2	8.8	0.7	3.4
17													
18	2.5	-	-	-	31.4	26.3	41.4	34.3	1.6	107.8	9.4	1.0	3.2
19	2.3	-	2.2	1.4 × 10 <sup>8</sup>	15.4	27.0	43.1	34.8	1.6	109.2	9.4	0.9	4.4
20													
21	3.6	-	-	-	32.4	29.5	46.6	32.8	1.6	105.0	9.2	1.0	5.0
22													
23	2.6	140	0.0	0.5 × 10 <sup>8</sup>	12.8	30.4	48.6	33.6	1.7	108.1	8.8	0.9	5.3
24													
25	1.6	-	-	-	23.5	30.3	45.7	35.0	1.7	110.7	9.1	1.2	4.8
26	3.6	150	1.4	1.2 × 10 <sup>8</sup>	15.7	29.5	47.9	36.2	1.6	114.6	8.8	1.1	5.3
27													
28	2.2	-	-	-	76.4	32.6	45.6	35.0	1.6	111.6	8.8	1.3	8.5
29													
30	2.1	90	1.9	0.8 × 10 <sup>8</sup>	14.4	32.9	50.8	34.8	1.6	111.9	8.4	1.1	6.4

### 2. 集積データの解析

データ入力シートにまとめたもろみの情報からデータ解析を実施した。

#### (1) 数値データに対する調査

全国新酒鑑評会で受賞したお酒の再現性を確保するために、金賞酒樽に現れる特徴を調査した。もろみ造りにおいて、温度と加水のタイミングが重要である。現在までに、金賞をとったものとそうでないものの温度について、基本統計量と移動平均について解析を行った。また、データが比較的多かった酒蔵について、品温と加水量の平均が金賞という評価に与える影響について解析した。その結果の一部を以下に示す。



(a) 受賞酒樽

(b) 通常の酒樽

図2 受賞と通常の酒樽との温度の移動平均の比較

表2 受賞酒樽の温度の基本統計量

平均	9.379411765
中央値	9.5
最頻値	9.5
最小値	7.0
最大値	11.0
合計値	318.9

表3 通常の酒樽の温度の基本統計量

平均	8.5
中央値	8.35
最頻値	8.3
最小値	5.8
最大値	11.6
合計値	221

表2と表3は、同じ酒蔵内の受賞酒樽とそうでない酒樽との基本統計量の比較である。また、図2は、同じ酒樽に対する温度の移動平均の比較である。数値データに対する調査ではこれらのような解析を複数の酒蔵に対して行った。しかし、現状では金賞をとった酒樽にだけ現れるような特徴などは見つかっていない。図3は樽の温度と加水量のそれぞれの平均を図示したものである。時系列情報を考慮していない平均値を用いた比較ではあるが、受賞した樽のものは比較的似たような分布を示しており、受賞していないものは、分布に規則性が見られないことが分かった。

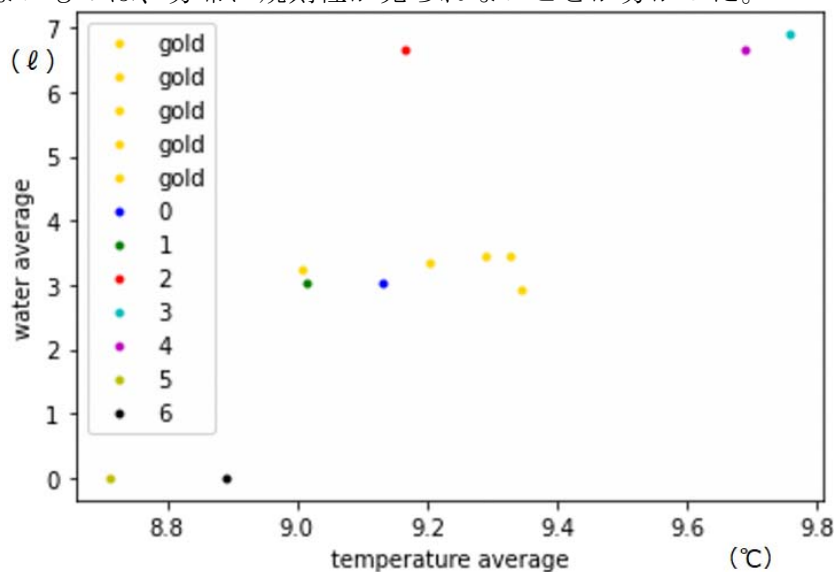


図3 酒樽の温度と加水量の平均の分布

(2) 画像データに対する調査

画像データは、いくつかの酒蔵における各酒樽のもろみ表面の変化を記録したものである。画像は1日に一度、担当者によって撮影されており、数値データと同様に金賞を受賞したものとそうでないものがある。そこで、金賞を受賞した酒樽とそうでない酒樽について、画像の局所的な表現を特徴量としたLBP (Local Binary Pattern) 特徴量を用いたヒストグラムの比較によって変化の違いを確認した。以下に、同一の酒蔵における2つの酒樽を比較した結果を示す。同酒樽内の異なる時刻で撮影されたもろみ画像のLBPヒストグラムを図3に示す。横軸はLBP値、縦軸は頻度を示している。図4では、それぞれ十分時刻が離れたもろみ画像から得られたLBPヒストグラムで、これらの図から分布はもろみの経過によって変わることが分かる。

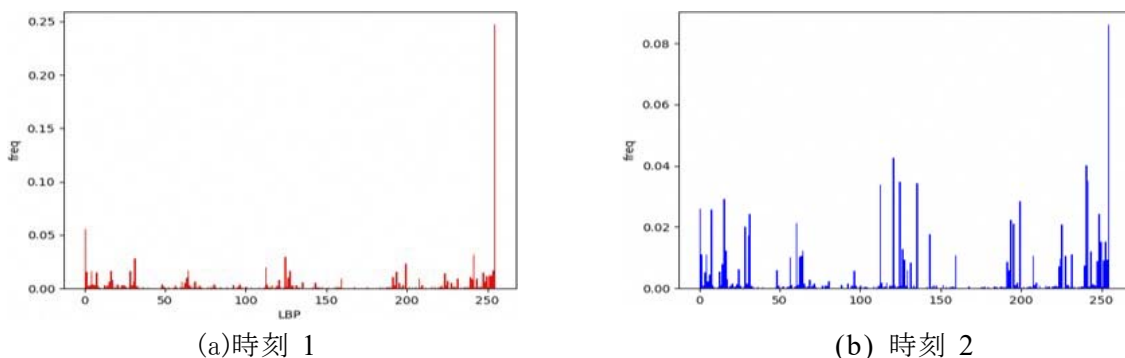
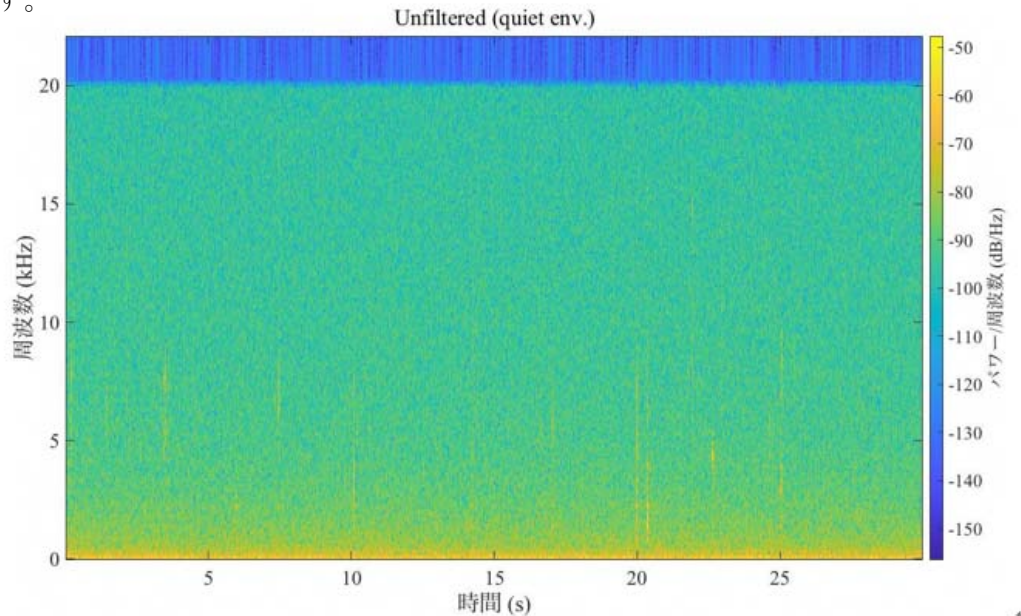


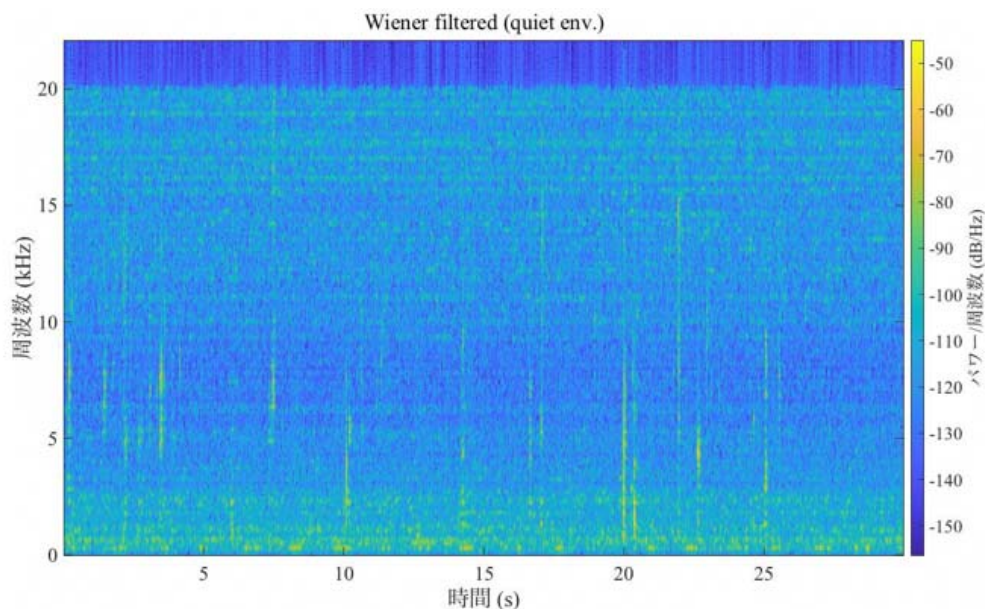
図4 同酒樽内の異なる時刻で撮影されたもろみ画像のLBPヒストグラムの例

### 3) 音声データの背景雑音処理

もろみが発酵する際に伴って発生する炭酸ガスにより発生する泡音から発酵の程度や泡の情報を反映したデータを得ること、またそのデータ処理手法を確立することを目的として音声データの解析を行なった。実際の醸造現場で録音したデータについて解析を行ったところ、Wiener フィルタによって背景雑音は同様に除去でき、累積関数の傾きや周波数平均値、周波数中央値の違いが実際の醸造の際にももろみの特徴量として使える見込みがあることが分かった。フィルタ適用前後の一例を図5に示す。



(a) フィルタ適用前



(b) フィルタ適用後

図5 フィルタ適用前後についての画像処理結果

### 3. 酒造管理システムの開発

独自のクラウド上でのデータ集積システムとして「Sakagura」を開発した。もろみ管理に必要な各種データの蓄積管理及び、支援システムであり、入力するデータは品温、ボーメ（比重）、アルコール分、もろみ量、酸度、もろみ音、もろみ画像、ピルビン酸濃度、グルコース濃度である。追加で開発した機能は、もろみデータ収集・蓄積・解析機能（品温、アルコール濃度、グルコース濃度など）、クラウド上でのデータ管理・情報共有機能、発酵管理情報表示機能（ボーメ（比重）とアルコール度グ

ラフなど)、加水量と加水のタイミング支援機能である。AB直線の描画結果を図6に示す。また、AB直線の想定範囲内を超えるとアラート表示を出力する機能を加え、加水タイミング検討指標の見える化を図られた。出力結果を図7に示す。



図6 「Sakagura」のグラフのAB直線描画結果

**基準値を超えている値があります。**

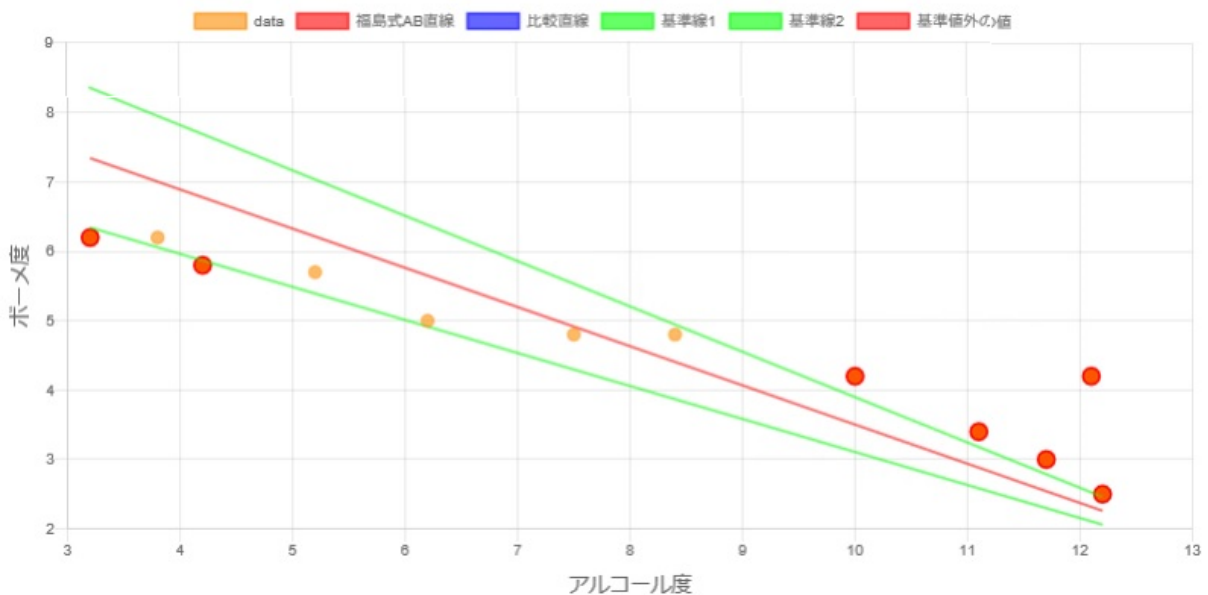


図7 アラート機能の追加描画結果

## ま と め

もろみ管理に IoT 技術を活用し、各種データを数値化・蓄積し、さらにそのデータを AI 解析することで、もろみ経過を予測し、最適なもろみの温度や加水量とタイミングをアドバイスするシステム構築を目的に、本年度は、酒造現場でのデータ集積を行った。得られた種々のデータ及び、分析によって得られたデータを AI に活用するための基盤の確立が図られ、以下の成果が得られた。

1. 全国新酒鑑評会で受賞したお酒の受賞酒樽に現れる特徴を調べた。ある企業の酒樽の受賞酒樽とそうでない酒樽の品温と加水量の平均が受賞という評価に与える影響について解析したところ、受賞した酒樽は近くに分布し、そうでない酒樽は比較的遠くに分布していることが分かった。
2. もろみの表面の泡の形成や粘度の違いについて調べるため、LBP 特徴量を用いたヒストグラムを作成し、時系列に並べて可視化することが可能となった。LBP ヒストグラムを特徴量として、サポートベクターマシン (SVM) を用いてクラス分類を行ったところ、正解率は 40%ほどであり、現状では画像データのみからクラス分類を行うことは困難であることが分かった。
3. 酵母の発酵によってできた気泡の音について、音源をスペクトルとして表示し評価を行った。同一の酒樽の表示結果を比較したところ、初日と末日で視覚的に音の違いがみられ、気泡が割れる音の回数は初日に比べて末日の方が少ないことが分かった。
4. 音声データについて、Wiener フィルタによって背景雑音は同様に除去でき、累積関数の傾きや周波数平均値、周波数中央値の違いが実際の醸造の際にももろみの特徴量として使える見込みがあることがわかった。
5. クラウド上でデータ共有ができる酒造データ管理システムの開発を行い、もろみ管理を支援するシステムが構築できた。

## 謝 辞

本研究を行うにあたり、試料等の提供、データの取得にご協力いただいた愛媛県酒造組合関係各位に深く感謝いたします。

## 文 献

- 1) 清酒業界の現状と成長戦略、(株)日本政策投資銀行地域企画部、p22 (2013)